

ОТЗЫВ

официального оппонента, доктора физико-математических наук, доцента Калиниченко Владимира Анатольевича на диссертационную работу Дьяковой Вероники Вадимовны на тему «Экспериментальное изучение динамики жидкости и сыпучей среды во вращающемся горизонтальном цилиндре», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 – «Механика жидкости, газа и плазмы».

Работа Дьяковой Вероники Вадимовны посвящена детальному экспериментальному изучению динамики дисперсной системы жидкость – твердые сферические частицы во вращающемся горизонтальном цилиндре. Выбранная тема исследований является актуальной в силу широкого распространения многофазных систем в природе и технике. Результаты исследований представляют несомненный интерес для различных технологических процессов, связанных с сегрегацией смесей и управлением дисперсными системами.

Диссертантом экспериментально рассмотрена малоисследованная задача об условиях формирования и динамике рельефа на границе между слоем несвязных осадков и жидкостью в быстро вращающемся горизонтальном цилиндре, причем скорость вращения полости или постоянна, или промодулирована во времени по гармоническому закону. Указанная постановка эксперимента представляет интерес как для фундаментальной, так и для прикладной гидродинамики.

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и списка использованной литературы, состоящего из 129 источников.

Во **введении** обоснована актуальность проводимых исследований, сформулирована цель и поставлены задачи исследования.

В первой главе представлены результаты экспериментального исследования динамики трехфазной системы (несвязные осадки – жидкость – газ) в быстро вращающемся горизонтальном цилиндре. Основное внимание уделяется изучению условий существования центрифугированных слоев жидкости и осадков, порогов возникновения азимутальных волн на свободной поверхности жидкости и пространственного рельефа на поверхности сыпучей среды. Эксперименты проводятся в зависимости от скорости вращения, размеров цилиндра, объема и вязкости жидкости, диаметра частиц и их суммарной массы. В качестве параметра, определяющего поведение трехфазной системы во вращающемся горизонтальном цилиндре, используется отношение силы тяжести и центробежной силы инерции. В быстро вращающемся горизонтальном цилиндре жидкость под совместным действием силы тяжести и центробежной силы инерции совершает азимутальные колебания вблизи поверхности слоя частиц, обеспечивая тем самым условия для возникновения пространственно-периодического рельефа на границе раздела жидкость – осадки. Кроме волны, неподвижной относительно лабораторной системы отсчета, в экспериментах обнаружены бегущие азимутальные волны с различными азимутальными волновыми числами. Фиксируемые в экспериментах колебания жидкости имеют форму бегущей по свободной поверхности волны. Результаты проведенных автором измерений скорости движения жидкости в

системе отсчета, связанной с цилиндром, позволили выявить помимо колебательного движения осредненное азимутальное течение жидкости в направлении, противоположном вращению полости. На мой взгляд, это – один из основных результатов работы Дьяковой В.В.

Во второй главе изучается динамика границы раздела двухфазной системы жидкость – сыпучая среда в равномерно вращающемся горизонтальном цилиндре. Обнаружено, что изначально невозмущенная граница раздела неустойчива к образованию квазистационарного рельефа в виде холмов, вытянутых вдоль оси вращения. Показано, что динамика квазистационарного рельефа определяется интенсивностью колебательного движения жидкости вблизи межфазной границы. Анализ временной динамики рельефа выявил его зависимость от условий эксперимента: регулярный рельеф сохраняет свою форму на временном интервале порядка нескольких десятков минут. Автором показано, что в связанной с цилиндром системе отсчета имеется дрейф рельефа в азимутальном направлении. В области высокой надкритичности происходит трансформация регулярного рельефа в несимметричные и нерегулярные дюны.

В третьей главе исследуется динамика сыпучей среды в заполненном жидкостью горизонтальном цилиндре при неравномерном вращении. Колебания цилиндра вокруг оси вращения на фоне его равномерного вращения (либрации) вызывают азимутальные колебания жидкости относительно стенок цилиндра. Показано, что изначально осесимметричная граница раздела между жидкостью и сыпучей средой при повышении интенсивности либраций пороговым образом теряет устойчивость, что проявляется в появлении регулярного рельефа в форме холмов, ориентированных вдоль оси вращения. Эксперименты по изучению пространственного периода рельефа проведены в зависимости от вязкости жидкости, диаметра частиц сыпучей среды, амплитуды колебаний жидкости, скорости вращения и частоты либраций.

Изучена временная и надкритическая динамика структур. В надкритической области повышение амплитуды колебаний (при неизменной частоте) приводит к монотонному увеличению длины холмов. Изучение временной динамики периодических структур показывает, что регулярные холмы непрерывно дрейфуют в азимутальном направлении.

Важным результатом является нахождение параметров, управляющих пороговой динамикой структур: пространственный период рельефа не зависит от вязкости жидкости, размера частиц сыпучей среды и частоты колебаний жидкости и определяется угловой амплитудой колебаний жидкости вблизи кольцевого слоя сыпучей среды и толщиной этого слоя.

Результаты исследований обобщены и представлены на плоскости безразмерных управляющих параметров.

В заключении диссертации представлены основные результаты и определены перспективы дальнейшей работы.

Достоверность результатов обеспечивается использованием апробированных современных методик измерения и обработки данных, детальным изучением,

комплексным экспериментальным рассмотрением проблемы и сравнением с данными других авторов.

Обоснованность сделанных выводов подкреплена детальным экспериментальным рассмотрением проблем и сравнением с данными других авторов.

Научная новизна работы состоит:

1. В систематическом экспериментальном исследовании процессов, происходящих в равномерно и неравномерно вращающемся горизонтальном цилиндре.
2. Впервые экспериментально обнаружено и исследовано возникновение пространственно-периодического рельефа на поверхности сыпучей среды в виде вытянутых вдоль оси вращения холмов.
3. В равномерно вращающемся цилиндре впервые экспериментально изучено колебательное и осредненное азимутальное движение жидкости, вызванные действием силы тяжести; обнаружены и изучены бегущие азимутальные волны на свободной поверхности жидкости с различными азимутальными волновыми числами.
4. Изучена временная динамика рельефа: обнаружено, что холмы непрерывно дрейфуют в азимутальном направлении. Показано, что пространственный период рельефа главным образом определяется амплитудой колебаний жидкости вблизи межфазной границы.

Практическая значимость работы. Управление сыпучей средой является актуальной задачей в неглубоких водоемах, где волновые движения жидкости приводят к перемещению песчаных осадков и к изменению морфологии дна. Лабораторные исследования, направленные на изучение фундаментальных процессов на границе раздела между жидкостью и песчаными осадками, будут способствовать развитию теории гидромеханики многофазных систем и гидромеханики вращающихся систем.

По тексту диссертации имеется ряд **замечаний**.

1. При описании динамики трех- и двухфазных сред во вращающемся горизонтальном цилиндре автором использовался в качестве определяющего параметр Γ – отношение силы тяжести к переносной (центробежной) силе инерции. При ненулевой относительной скорости частиц жидкости или твердой фазы в подвижной системе отсчета появляется кориолисова сила инерции, которая в зависимости от направления относительного движения увеличивает или уменьшает переносную силу инерции. Возможно, это влияние мало, но в диссертации какие-либо оценки кориолисовой силы отсутствуют.
2. Для угловой скорости вращения цилиндра используются различные единицы измерения; например, на рис. 1.3 – рад/с, а на рис. 1.4 – об/с (Гц). Это затрудняет чтение текста и сопоставление величин.
3. Рассматриваемая диссертация – русскоязычное издание, представляемое в ВАК РФ, но в списке литературы ссылки на статьи [4, 5, 27, 28 и 126],

первоначально опубликованные в МЖГ Изв. РАН, почему-то приводятся на их переводные версии (Fluid. Dyn).


4. В диссертации встречаются отдельные стилистические погрешности, описки и опечатки («Рябь Фарадея представляет собой неподвижную систему стоячих волн...», с.3; «...и веса частицы.», с.10; «Теперь рассмотрим подробнее колебательное движение жидкости, вызванное вынужденными колебаниями жидкости...», с.47), впрочем, не меняющие смысла текста.

Приведенные замечания немногочисленны, имеют рекомендательный или чисто технический характер и ни в коей мере не снижают ценности и качества научных исследований, представленных в работе, и высокой оценки работы в целом.



Представленная к защите диссертация является законченной научно-квалификационной работой, выполненной на высоком уровне. Полученные результаты обладают новизной, представляют научный интерес и соответствуют паспорту специальности 01.02.05 – «Механика жидкости, газа и плазмы». Результаты работы прошли апробацию и в том числе опубликованы в 4 изданиях, входящих в перечень ВАК. Содержание автореферата соответствует диссертации, правильно и полно отражает основные результаты исследования.

В связи с изложенным, я считаю, что представленная диссертация «Экспериментальное изучение динамики жидкости и сыпучей среды во вращающемся горизонтальном цилиндре» соответствует требованиям Положения ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертационным работам, а её автор Дьякова В.В. безусловно заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 – «Механика жидкости, газа и плазмы».

Ведущий научный сотрудник
лаборатории механики сложных
жидкостей ФГБУН Институт
проблем механики
им. А. Ю. Ишлинского РАН
доктор физико-математических
наук, доцент

 / Калиниченко Владимир Анатольевич
17.11.2020

Адрес: 119526, г. Москва,
пр-т Вернадского, 101, корп. 1
ФГБУН ИПМех РАН, <http://www.ipmnet.ru/>
Телефон: +7 (495) 434-14-87
E-mail: kalin@ipmnet.ru
«Механика жидкости, газа и плазмы»

Подпись  / И.А. Сафронов
Зав. канцелярией  И.А. Сафронов
2020

